

Несостоятельность доказательства теоремы Карно, которое дал Р.Клаузиус¹

В.Н. Игнатович²

Резюме

Р.Клаузиус доказал теорему Карно, основываясь на постулате «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплomu». Александр Гухман показал, что теорема Карно может быть доказана на основе постулата «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплomu». Он заключил, что теорема Карно не вытекает из постулата Клаузиуса. В настоящем сообщении дается подробное обоснование вывода Гухмана.

1. Введение

В работе «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных производить эту силу» Сади Карно доказал теорему, согласно которой максимальная работа, производимая тепловой машиной, не зависит от свойств рабочего тела, применяемого в машине. Он писал: *«Движущая сила тепла не зависит от агентов, взятых для ее развития, ее количество исключительно определяется температурами тел, между которыми, в конечном счете, производится перенос теплорода»* [1, с.30]. Карно основал доказательство этой теоремы на положении о существовании неуничтожимого теплорода и постулате о невозможности получения работы из ничего (см. [1]).

Р.Клаузиус отказался от представлений о существовании теплорода и дал новое доказательство теоремы Карно. Это доказательство является общеизвестным, приводится во многих курсах термодинамики и долгое время ни у кого не вызывало сомнений.

А.А.Гухман доказал, что доказательство Клаузиуса является ошибочным [3, 4]. Его работы были опубликованы в 1947 и 1986 гг., однако о них и сегодня мало кто знает. Автор хотел бы привлечь внимание исследователей к важным результатам исследований А. А. Гухмана.

С этой целью ниже подробно излагается доказательства теоремы Карно, которое дал Клаузиус, а затем демонстрируется несостоятельность этого доказательства таким же способом, как и в работах А. А. Гухмана, однако более подробно.

¹ Ранее опубликовано на английском языке: Ihnatovych V. Inconsistency of Carnot's theorem's proof by R. Clausius // arXiv:1303.2123 [physics.hist-ph] (URL: <http://arxiv.org/abs/1303.2123>).

² Кафедра философии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (Киев, Украина).

2. Доказательство теоремы Карно на основе постулата Клаузиуса

Клаузиус приводит доказательство теоремы Карно в главе «Второе начало механической теории тепла» своей работы «Механическая теория тепла» [2].

Первый параграф этой главы называется «Рассмотрение одного кругового процесса особого рода». Здесь описан цикл Карно – круговой процесс, включающий следующие четыре процесса: 1) изотермическое расширения изменяющегося (рабочего) тела при температуре T_1 , равной температуре резервуара тепла K_1 ; 2) адиабатическое расширения изменяющегося тела, при котором его температура понижается до температуры T_2 , равной температуре резервуара тепла K_2 ; изотермическое сжатие рабочего тела при температуре T_2 ; адиабатическое сжатие изменяющегося тела, при котором его температура повышается до температуры T_1 .

После завершения кругового процесса изменяющееся тело возвращается в исходное состояние.

Второй параграф называется «Результат кругового процесса». В нем Клаузиус выражает результат кругового процесса так:

«Полученное из тела K_1 количество теплоты разделилось на две части, из которых одна, Q , превратилась в работу, а другая, Q_2 , перешла от тела K_1 к более холодному телу K_2 » [2, с.129].

Он также записывает соотношение:

$$Q_1 = Q_2 + Q.$$

Затем он описывает обратный цикл Карно и так выражает результат обратного процесса:

«Количество теплоты Q получилось из работы и перешло к телу K_1 , а количество теплоты Q_2 перешло от более холодного тела K_2 к более теплomu телу K_1 » [2, с.130].

В параграфе 3 «Круговой процесс тела, состоящего из жидкости и пара» Клаузиус задает вопрос: *«существует ли между тем количеством теплоты, которое превращается в работу (или из нее получается), и тем количеством теплоты, которое переходит от более теплого тела к более холодному (или наоборот), зависимость, имеющая всеобщий характер, или же эта зависимость изменяется сообразно природе тела, участвующего в явлении»* [2, с.131].

В параграфе 5 «Новый принцип, относящийся к теплоте» Клаузиус формулирует и разъясняет принцип: *«Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплomu»* [2, с.133]; в другой формулировке: *«Переход теплоты от более холодного тела к более теплomu не может иметь места без компенсации»* [2, с.134].

Затем следует параграф 6, который называется «Доказательство того, что отношение между превращенной в работу теплотой и теплотой, перешедшей от одного тела к другому, не зависит от природы вещества, с помощью которого процесс осуществляется».

Приведем доказательство Клаузиуса полностью, выделив в нем некоторые слова и символы жирным шрифтом.

«Если мы допустим, что имеются два тела C и C' (например рассмотренный выше газ и масса, состоящая из жидкости и пара), для которых, при одном и том же значении Q , перешедшие от одного тела к другому количества теплоты имеют различные значения, которые мы обозначим через Q_2 и Q_2' (положив Q_2' **больше** Q_2), то мы можем поступить следующим образом. Сначала мы заставим тело C проделать круговой процесс в таком направлении, что количество теплоты Q превратится в работу, а количество теплоты Q_2 перейдет из K_1 в K_2 . Затем мы заставим тело C' проделать круговой процесс в обратном направлении, причем количество теплоты Q получится из работы, а количество теплоты Q_2' перейдет из K_2 в K_1 .

Оба имеющих здесь место превращения из теплоты в работу и из работы в теплоту взаимно уничтожаются, ибо можно себе представить, что после того как в первом круговом процессе количество теплоты Q , полученное из тела K_1 , превратилось в работу, во втором круговом процессе эта же работа затрачивается на то, чтобы создать количество теплоты Q , которое затем вновь отдается телу K_1 . Также и во всем остальном к концу обеих операций все находится вновь в начальном состоянии, за исключением одного изменения, которое при этом остается. А именно, так как по сделанному допущению количество теплоты Q_2' , перешедшее от K_2 в K_1 , **больше**, чем количество теплоты Q_2 , перешедшее из K_1 в K_2 , то эти два перехода не уничтожают взаимно друг друга, но в результате из K_2 в K_1 переходит количество теплоты, представленное разностью $Q_2' - Q_2$. Мы приходим, таким образом, к результату, что произошел переход теплоты от более **холодного** тела к более **теплому**, без того чтобы произошло какое-нибудь другое изменение, могущее служить компенсацией. Но так как это противоречит основному принципу, то допущение, что Q_2' **больше** Q_2 , должно быть неправильным.

Если бы мы сделали другое допущение, что Q_2' **меньше** чем Q_2 , то мы могли бы себе представить, что тело C' проделало круговой процесс в первом направлении, а тело C – в направлении обратном. Тогда мы пришли бы к результату, что количество теплоты $Q_2 - Q_2'$ перешло без компенсации от более **холодного** тела K_2 к более **теплому** телу K_1 , что опять-таки противоречит основному принципу.

Если, таким образом, Q_2' не может быть ни больше, ни меньше Q_2 , то обе эти величины должны быть равны, чем и доказывается провозглашенное выше предложение» [1, с.135].

3. Доказательство теоремы Карно на основе постулата, противоположного постулату Клаузиуса

А. А. Гухман показал, что можно доказать независимость отношения Q/Q_2 от вида изменяющегося тела, если исходить из «антипостулата»: «Теплота не может переходить сама собой от более нагретого тела к более холодному» [2, с.80] (см. также [3, с.340]).

Он писал: «Замена постулата Клаузиуса (исходной предпосылки) его антитезой (физически абсурдной предпосылкой противоположного содержания) не отражается ни на существе получаемых результатов, ни на способе их получения» [3, с.341].

Однако А. А. Гухман обосновал это положение очень кратко. Возможно, по этой причине его результат остался незамеченным.

Чтобы убедительно продемонстрировать возможность доказательства теоремы Карно на основе «антипостулата» «Теплота не может переходить сама собой от более нагретого тела к более холодному», повторим приведенные выше рассуждения Клаузиуса, заменив в нем выделенные слова на противоположные по смыслу, и поменяв местами выделенные символы.

«Если мы допустим, что имеются два тела C и C' (например рассмотренный выше газ и масса, состоящая из жидкости и пара), для которых, при одном и том же значении Q , перешедшие от одного тела к другому количества теплоты имеют различные значения, которые мы обозначим через Q_2 и Q_2' (положив Q_2' **меньше** Q_2), то мы можем поступить следующим образом. Сначала мы заставим тело C проделать круговой процесс в таком направлении, что количество теплоты Q превратится в работу, а количество теплоты Q_2 перейдет из K_1 в K_2 . Затем мы заставим тело C' проделать круговой процесс в обратном направлении, причем количество теплоты Q получится из работы, а количество теплоты Q_2' перейдет из K_2 в K_1 .

Оба имеющих здесь место превращения из теплоты в работу и из работы в теплоту взаимно уничтожаются, ибо можно себе представить, что после того как в первом круговом процессе количество теплоты Q , полученное из тела K_1 , превратилось в работу, во втором круговом процессе эта же работа затрачивается на то, чтобы создать количество теплоты Q , которое затем вновь отдается телу K_1 . Также и во всем остальном к концу обеих операций все находится вновь в начальном состоянии, за исключением одного изменения, которое при этом остается. А именно, так как по сделанному допущению количество теплоты Q_2' , перешедшее от K_2 в K_1 , **меньше**, чем количество теплоты Q_2 , перешедшее из K_1 в K_2 , то эти два перехода не уничтожают взаимно друг друга, но в результате из K_1 в K_2 переходит количество теплоты, представленное разностью $Q_2 - Q_2'$. Мы приходим, таким образом, к результату, что произошел переход теплоты от более **теплого** тела к более **холодному**, без

того чтобы произошло какое-нибудь другое изменение, могущее служить компенсацией. Но так как это противоречит основному принципу, то допущение, что Q_2' **меньше** Q_2 , должно быть неправильным.

Если бы мы сделали другое допущение, что Q_2' **больше** чем Q_2 , то мы могли бы себе представить, что тело C' проделало круговой процесс в первом направлении, а тело C – в направлении обратном. Тогда мы пришли бы к результату, что количество теплоты $Q_2' - Q_2$ перешло без компенсации от более **теплого** тела K_2 к более **холодному** телу K_1 , что опять-таки противоречит основному принципу.

Если, таким образом, Q_2' не может быть ни больше, ни меньше Q_2 , то обе эти величины должны быть равны, чем и доказывается провозглашенное выше предложение».

4. Обуждение

А.А.Гухман сделал вывод: «Возникает мысль, что конечные выводы не находятся в логической зависимости от исходных предположений» [2, с.79; 3, с.341].

Думается, он был слишком осторожным в своем выводе. Из двух противоположных суждений не может следовать одно и то же истинное заключение.

А.А.Гухман убедительно продемонстрировал: теорема Карно не следует из постулата Клаузиуса.

5. Выводы

Доказательство теоремы Карно, которое дал Клаузиус, является ошибочным. Теорема Карно не следует из постулата Клаузиуса «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более тепловому». Доказательство Клаузиуса необходимо изъять из курсов термодинамики.

6. Список литературы

1. Клаузиус Р. Механическая теория тепла // Второе начало термодинамики. – М.-Л.: Гостехтеориздат, 1934. – С.71-158.
2. Гухман А. А. Об основаниях термодинамики. – Алма-Ата: Изд-во АН Каз. ССР, 1947. – 106 с.
3. Гухман А. А. Об основаниях термодинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 384 с.